

## **FRACCIONAMIENTO DE LOS PRODUCTOS DE ALTERACION MINERAL DE ALGUNOS MATERIALES GRANITICOS DEL SISTEMA CENTRAL**

VIGIL DE LA VILLA R., RUBIO V., GARCIA R. y JIMENEZ BALLESTA R.

Dptº de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. UAM Madrid 28049

**Abstract:** The object of this paper is to discuss the mineralogy of the weathering products of some granitic materials (saprock) and one soil profile. This type of saprolites (sometimes more than 15 meters thick) is very common in the landscape of the Sistema Central.

Weathering results in thick saprolite composed by quartz, feldspars and clay minerals (illite, kaolinite, vermiculite and interstratified illite/vermiculite). Illite and kaolinite are the dominant clay minerals, with less abundant amount of vermiculite; mixed-layer illite-vermiculite are also present.

An increase of feldspar and a decrease of kaolinite are observed from bigger to smaller size particles. There is also a slight decrease in illite/vermiculite interstratified to smaller size in the soil profile, and an increase trend in bigger size in one C horizon. The result is that weathering degree increases when the particle is smaller.

The weathering of primary silicate minerals of some materials originated from granite of Sistema Central is a complex process involving the alteration of the minerals and the formation of secondary phases. Chemical weathering takes place in an open system flushed by through flowing meteoric waters, making interstratified illite/vermiculite as first stage and kaolinite as final product.

**Key words:** weathering, saprolite, Sistema Central.

**Resumen:** A lo largo del Sistema Central se pueden observar numerosas zonas en las que se manifiestan masas saprolíticas procedentes de la alteración de materiales graníticos (a veces de hasta 15 metros de potencia). En este trabajo se discute la mineralogía de estos productos de alteración.

El resultado de la alteración del granito son potentes saprolitos compuestos por cuarzo, feldespatos y minerales de la arcilla (illita, caolinita, vermiculita e interestratificados illita/vermiculita). Illita y caolinita son los minerales dominantes, seguidos de vermiculita y en menor proporción interlaminares illita/vermiculita.

Desde los tamaños de partículas menores a mayores se observa un aumento del contenido en feldespatos y una disminución en el de caolinita. También se observa una ligera disminución en los interestratificados illita/vermiculita hacia tamaños más pequeños en un perfil, y una tendencia a aumentar en tamaños mayores en un horizonte C. El resultado es que el grado de alteración aumenta cuando el tamaño de partícula es menor.

La alteración de los silicatos primarios de algunos materiales saprolíticos originados a partir de granitos del Sistema Central es un proceso complejo que involucra la transformación de minerales y la formación de fases secundarias. Esta alteración se produce en un sistema drenado por aguas de meteorización, que conllevan como primera fase la aparición de interestratificados illita/vermiculita y como fase final la presencia de caolinita.

**Palabras clave:** alteración, saprolito, Sistema Central.

## INTRODUCCION

A lo largo de la geografía del Sistema de Central se pueden detectar numerosos puntos en los que aparecen zonas con potentes masas de material alterado, constituyendo verdaderos «saprolitos» que en ocasiones presentan una potencia cercana a los 15 metros de profundidad. De este modo en el Sistema Central se manifiestan niveles de alteración en los que se puede investigar las etapas de transformación mineral, con el fin último de determinar las cargas críticas para la acidez de los suelos desarrollados sobre dichos materiales.

Desde el granito sin alterar al granito más alterado que da origen al suelo actual, se producen toda una serie de transformaciones químicas, físicas y mineralógicas, que dependen, además de la naturaleza de dicho material, de otros factores ambientales.

Por ello la alteración de los materiales graníticos, como tales, ha sido abordada por diversos investigadores como Seddoh (1973), Tardy et al. (1973) entre otros; otro tanto sucede con la alteración de feldespatos, investigada por Berner y Holdren (1979), Penven et al. (1983), etc. En este sentido también se han realizado trabajos sobre las Sierras de Guadarrama y Gredos, Aleixandre et al. (1981a y b), Arévalo et al. (1982), Vicente y Sánchez Camazano (1982), entre otros.

Habida cuenta que, según Calvo y Macías (1981), los cambios mineralógicos comienzan cuando apenas existen evidencias de modificaciones en la estructura de la roca, en el presente trabajo, que forma parte de un proyecto sobre determinación de las cargas críticas para la acidez, se aborda el estudio de las transformaciones mineralógicas que experimentan los materiales graníticos en algunos de los puntos antes mencionados. Para ello se analiza la composición mineral en distintas fracciones de muestras procedentes de materiales saprolíticos y horizontes edáficos del Sistema Central.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este estudio, se han seleccionado seis muestras cuya localización y características generales se resumen en la Tabla 1.

La muestra 1 (horizonte C) se sitúa cerca del cruce de la carretera que une Jaraiz con Cuacos, en el fondo del valle que atraviesa la carretera. Apenas es pedregoso y forma parte de un perfil clasificado como Cambisol dístico. Las muestras 2 y 3 (también horizontes C), forman parte de un material saprolítico localizado en la subida al Puerto del Piornal. Se describen como dos fases de alteración, (horizontes  $C_1$  y  $C_2$ ), partiendo de un mismo material granítico.

Las muestras 4, 5 y 6, pertenecen a un mismo perfil edáfico (Cambisol dístico), situado en una ladera escarpada, (pendiente del 20%) y bajo robleal. La muestra 4, corresponde al horizonte superior Ah, tiene una estructura moderada migajosa fina, no es adherente ni plástico, pero es muy friable y blando, con abundantes raíces y muy poroso. La muestra 5 es de un horizonte Bw, presentando una estructura poliédrica subangular gruesa, no es adherente ni plástico, pero es friable, blando y poroso, conservando raíces. Finalmente, la muestra 6 es un horizonte C, similar a los de las muestras 1, 2 y 3 anteriores, representa al saprolito o material arenizado y alterado.

Sobre todas estas muestras, se han realizado estudios simultáneos encaminados a conocer su distribución por tamaño, así como la identificación de cada especie mineral y su semicuantificación, mediante difracción de rayos X (D.R.X). La granulometría se realizó mediante tamizado para las fracciones superiores a 50  $\mu\text{m}$  y por sedimentación y centrifugación para las fracciones de menor tamaño. La determinación mineralógica se llevó a cabo mediante D.R.X. utilizando un difractor Philips. PW 1135 con radiación K del cobre, filtro de níquel, velocidad de barrido 1°/minuto y ranuras de divergencia y recepción de 1° y 0,3° respectivamente. La identificación y semicuantificación de

Tabla 1. Datos de carácter general de las muestras analizadas.

MUESTRA	HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	COLOR MUNSELL	GRADO DE ALTERACION	PENDIENTE (%)	DRENAJE	COORDENADAS
1	C	>57	5 YR 7/6	BAJO	5	MEDIO	40°04'20"N/ 5°45'15"W
2	C	>200	10 YR 7/4	ALTO	25	ALTO	40°07'30"N/ 5°40'20"W
3	C	>250	10 YR 8/2	MEDIO	25	ALTO	40°07'30"N/ 5°40'20"W
4	Ah	0-10	7,5-YR 4/2	MEDIO	20	ALTO	40°07'40"N/ 5°49'10"W
5	Bw	10-48	10 YR 8/3	MEDIO	20	ALTO	40°07'40"N/ 5°49'10"W
6	C	>48	7,5 YR 7/2	MEDIO	20	ALTO	40°07'40"N/ 5°49'10"W

los minerales de las fracciones limo y arcilla se llevó a cabo siguiendo las orientaciones de Harry et al. (1984).

propia de un ambiente ácido de la alteración de granitos, el resultado es que aparecen diferentes grados de alteración, que se supone son función del drenaje y pendiente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### *1º Muestras de horizontes C (saprolito).*

El conjunto de las muestras que representan la primera fase de alteración (muestras 1, 2, 3 y 6) presentan una granulometría predominantemente arenosa, destacando la muestra 2 con mayor porcentaje de las fracciones de arena gruesa (>1 mm y >0,5 mm) (Tabla 2). El limo constituye la segunda fracción en abundancia, principalmente el limo grueso (<0,050 mm y >0,020 mm) para las muestras 2 y 3 (Tabla 2); destacan las fracciones limo grueso y limo medio en la muestra 1 (Tabla 2). Obviamente las fracciones arcilla son las que se encuentran en proporción minoritaria.

Los análisis por DRX muestran tendencias similares en todos estos horizontes de alteración C, pero como era de esperar, existen diferencias. La presencia de intergrado mica-vermiculita en todas las fracciones texturales de la muestra 1 indica el menor grado de alteración que sufre este material, dado que este tipo de intergrado es considerado como el primer producto de la alteración de micas a vermiculitas. La muestra 6 representaría un estado intermedio en este tipo de alteración puesto que todavía se observa la presencia de intergrado mica-vermiculita, en los tamaños más gruesos, además de la formación de vermiculita en los tamaños limo y arcilla gruesa. Las dos muestras tomadas más próximas al puerto, 2 y 3, representarían el mayor grado de alteración, puesto que en ellas, no se observan las fases intermedias (intergrado mica-vermiculita o vermiculita), sino que solamente existe presencia de caolinita, mineral correspondiente al producto final, en estos procesos de transformación.

De este modo aunque todas estas muestras pueden considerarse de una misma fase inicial

### *2º Muestras del perfil edáfico*

Los constituyentes del perfil (muestras 4, 5 y 6), presentan una granulometría predominantemente arenosa (aproximadamente 80% de arena); en las dos muestras superficiales (Ah y Bw) y especialmente en la última, se observa una ligera acumulación de las fracciones limo y arcilla (Tabla 2). El aumento de las fracciones de limo y de arcilla, en el horizonte Bw, se produce como resultado de la alteración de las fracciones correspondientes a arenas medias y finas en este horizonte, indicando un mecanismo de alteración gradual y progresivo desde el horizonte profundo hacia el horizonte superficial.

Los resultados del análisis mineralógico de las fracciones limo y arcilla de las tres muestras del perfil (Tabla 3), muestran como silicatos laminares vermiculita (14,24 Å), illita (9,99 Å), caolinita (7,15 Å) e intergrado mica-vermiculita (11,93 Å), acompañados de distintas proporciones de cuarzo y feldespatos (Fig. 1).

Los feldespatos son más abundantes en el horizonte más profundo y van disminuyendo a medida que nos aproximamos a la superficie, presentando los valores mínimos el horizonte superficial. Esta distribución sugiere que el mayor grado de alteración se produce en superficie. Así mismo, dentro de cada horizonte, estos materiales se encuentran concentrados en los tamaños más gruesos, siendo los materiales de tamaño más pequeños los más fácilmente alterables.

La illita, resultado de la alteración de partículas de mica de mayor tamaño, aunque presente en los tamaños limo y arcilla de los tres horizontes, se concentra en el limo, principalmente en el horizonte Ah (Tabla 2). Se observa que al disminuir el tamaño de partícula, el grado de cristalización de la illita va disminuyendo.

La existencia de intergrados mica-

Tabla 2. Fraccionamiento textural pormenorizado de las muestras.

	ARENA					LIMO			ARCILLA		
	>1	>0.5	>0.25	>0.125	>0.063	>0.050	>0.020	>0.008	>0.002	>0.001	<0.00005
<b>1C</b>	ARENA 78% LIMO 18% ARCILLA 4%										
TAMIZ (mm)	>1	>0.5	>0.25	>0.125	>0.063	>0.050	>0.020	>0.008	>0.002	>0.001	<0.00005
PESO MUESTRA (gr)	0,21	1,08	2,5	1,79	1,01	0,14	1,4	0,04	0,13	0,2	0,11
8,66	2%	12%	29%	21%	12%	2%	16%	0%	2%	2%	1%
% MUESTRA	2%	15%	44%	64%	76%	78%	94%	94%	96%	98%	100%
% RESTO TAMIZ	98%	85%	56%	36%	24%	22%	6%	6%	4%	2%	0%
% PASO TAMIZ	ARENA 78% LIMO 18% ARCILLA 4%										
<b>6C</b>	ARENA 80% LIMO 16% ARCILLA 4%										
TAMIZ (mm)	>1	>0.5	>0.25	>0.125	>0.063	>0.050	>0.020	>0.008	>0.002	>0.001	<0.00005
PESO MUESTRA (gr)	0,38	1,33	2,56	1,85	1,11	0,19	1,29	0,06	0,13	0,19	0,1
9,29	4%	14%	28%	20%	12%	2%	14%	1%	1%	2%	1%
% MUESTRA	4%	18%	46%	66%	78%	80%	94%	94%	96%	98%	100%
% RESTO TAMIZ	96%	82%	54%	34%	22%	20%	6%	6%	4%	2%	0%
% PASO TAMIZ	ARENA 80% LIMO 16% ARCILLA 4%										
<b>2C</b>	ARENA 79% LIMO 18% ARCILLA 3%										
TAMIZ (mm)	>1	>0.5	>0.25	>0.125	>0.063	>0.050	>0.020	>0.008	>0.002	>0.001	<0.00005
PESO MUESTRA (gr)	1,99	1,26	1,74	1,36	0,92	0,15	1,52	0,02	0,17	0,16	0,07
9,41	21%	13%	18%	14%	10%	2%	16%	0%	2%	2%	1%
% MUESTRA	21%	35%	53%	67%	77%	79%	95%	95%	97%	99%	100%
% RESTO TAMIZ	79%	65%	47%	33%	23%	21%	5%	5%	3%	1%	0%
% PASO TAMIZ	ARENA 79% LIMO 18% ARCILLA 3%										
<b>3C</b>	ARENA 76% LIMO 21% ARCILLA 3%										
TAMIZ (mm)	>1	>0.5	>0.25	>0.125	>0.063	>0.050	>0.020	>0.008	>0.002	>0.001	<0.00005
PESO MUESTRA (gr)	0,9	1,53	1,88	1,33	1,04	0,22	1,63	0,03	0,26	0,18	0,04
9,09	10%	17%	21%	15%	11%	2%	18%	0%	3%	2%	0%
% MUESTRA	10%	27%	47%	62%	73%	76%	94%	94%	97%	99%	100%
% RESTO TAMIZ	90%	73%	53%	38%	27%	24%	6%	6%	3%	1%	0%
% PASO TAMIZ	ARENA 76% LIMO 21% ARCILLA 3%										

Tabla 2. Continuación

		ARENA					LIMO			ARCILLA		
		>1	>0.5	>0.25	>0.125	>0.063	>0.050	>0.020	>0.008	>0.002	>0.001	<0.00005
<b>4Ah</b>												
TAMIZ (mm)												
PESO MUESTRA (gr)	9.1											
% MUESTRA	8%	1,75	2,21	1,38	0,75	0,13	1,17	0,03	0,39	0,29	0,12	0,13
% RESTO TAMIZ	8%	19%	24%	15%	8%	1%	13%	0%	4%	3%	1%	1%
% PASO TAMIZ	92%	73%	48%	33%	25%	23%	11%	10%	6%	97%	99%	100%
		ARENA 77%					LIMO 17%			ARCILLA 6%		
<b>5Bw</b>												
TAMIZ (mm)												
PESO MUESTRA (gr)	9.16											
% MUESTRA	8%	1,48	2,06	1,3	0,85	0,13	1,65	0,02	0,38	0,25	0,18	0,11
% RESTO TAMIZ	8%	16%	22%	14%	9%	1%	18%	0%	4%	3%	2%	1%
% PASO TAMIZ	92%	75%	53%	39%	30%	28%	10%	10%	6%	97%	99%	100%
		ARENA 72%					LIMO 22%			ARCILLA 6%		
<b>6C</b>												
TAMIZ (mm)												
PESO MUESTRA (gr)	9.29											
% MUESTRA	4%	1,33	2,56	1,85	1,11	0,19	1,29	0,06	0,13	0,19	0,1	0,1
% RESTO TAMIZ	4%	18%	46%	66%	78%	80%	94%	94%	96%	98%	99%	100%
% PASO TAMIZ	96%	82%	54%	34%	22%	20%	6%	6%	4%	2%	1%	0%
		ARENA 80%					LIMO 16%			ARCILLA 4%		

Tabla 3. Mineralogía de las distintas fracciones.

TAMAÑO	MICA/VERMICUL.	VERMICULITA	ILITA	CAOLINITA	CUARZO	FELDESPATO
<b>MUESTRA 4</b>						
50-20µm	6	3	42	16	9	28
20-8µm	7	5	54	13	9	12
8-2µm	7	10	49	20	8	9
2-1µm	3	10	38	39	7	3
1-0.5µm	0	3	49	45	3	0
<0.5µm	0	0	33	64	3	0
<b>MUESTRA 5</b>						
50-20µm	7	6	52	17	6	12
20-8µm	3	3	57	22	5	10
8-2µm	5	3	48	31	4	9
2-1µm	2	3	46	40	2	7
1-0.5µm	2	2	29	61	0	0
<0.05µm	0	0	28	66	0	6
<b>MUESTRA 6</b>						
50-20µm	6	1	42	7	7	37
20-8µm	6	2	46	13	14	19
8-2µm	9	4	35	31	8	13
2-1µm	0	3	33	22	25	17
1-0.5µm	0	1	22	44	21	12
<0.5µm	0	0	23	49	20	8

Tabla 3. Continuación

TAMAÑO	MICA/VERMICUL.	VERMICULITA	ILITA	CAOLINITA	CUARZO	FELDESPATO
<b>MUESTRA 1</b>						
50-20 $\mu$ m	35	2	36	12	8	7
20-8 $\mu$ m	25	0	44	17	9	5
8-2 $\mu$ m	27	0	35	18	11	9
2-1 $\mu$ m	23	0	26	25	20	6
1-0.5 $\mu$ m	24	0	20	44	7	5
<0.5 $\mu$ m	11	0	27	57	5	0
<b>MUESTRA 6</b>						
50-20 $\mu$ m	6	1	42	7	7	37
20-8 $\mu$ m	6	2	46	13	14	19
8-2 $\mu$ m	9	4	35	31	8	13
2-1 $\mu$ m	0	3	33	22	25	17
1-0.5 $\mu$ m	0	1	22	44	21	12
<0.5 $\mu$ m	0	0	23	49	20	8
<b>MUESTRA 2</b>						
50-20 $\mu$ m	0	0	9	14	36	41
20-8 $\mu$ m	0	0	27	19	22	32
8-2 $\mu$ m	0	0	30	23	21	26
2-1 $\mu$ m	0	0	33	27	22	18
1-0.5 $\mu$ m	0	0	35	31	24	10
<0.05 $\mu$ m	0	0	34	35	22	9
<b>MUESTRA 3</b>						
50-20 $\mu$ m	0	0	36	16	15	33
20-8 $\mu$ m	0	0	27	40	13	20
8-2 $\mu$ m	0	0	17	43	14	26
2-1 $\mu$ m	0	0	18	49	16	17
1-0.5 $\mu$ m	0	0	26	51	14	9
<0.5 $\mu$ m	0	0	28	53	14	5



vermiculita en las fracciones limo de los tres horizontes pone de manifiesto las distintas fases sucesivas de la alteración que se iniciaría, en una primera fase, con la formación de intergrados mica-vermiculita, inestables en función del drenaje, prosiguiendo la alteración hacia la formación de vermiculita.

Habida cuenta que el contenido en vermiculita disminuye con la profundidad del perfil, que son trioctaédricas y que al disminuir el tamaño de partícula su cristalinidad disminuye, parece razonable justificar su formación como un primer producto de alteración de micas, sin que se origine variación apreciable en el tamaño de partícula.

En efecto, la vermiculita es un mineral que tiende a generarse a partir de la alteración de micas, bajo condiciones de alteración ambiental moderada en función del drenaje. Este proceso se produce en varias fases sucesivas, mediante difusión de iones interlaminares y (anterior o simultáneamente), un proceso de oxidación del hierro presente en la mica, que conlleva transferencias de tipo electrón-protón (Basset, 1963; Weaver y Pollard, 1973; Vicente et al, 1977; Zelazny et al, 1980; Bailey, 1980; Malla y Douglas 1987). Estos mecanismos, se podrían explicar mediante una serie de reacciones de velocidad controlada que según Barshad y Kishk, (1969); Carlisle y Zelazny, (1973); Zelazny *et al.*, (1975) son lentas para la disolución de mica, rápidas para la eliminación del potasio y la oxidación del hierro y lentas para la disolución de vermiculitas.

La caolinita es un mineral considerado producto de alteración de materiales primarios y secundarios, como feldespatos, micas y vermiculitas, en ambientes próximos a la superficie en función del pH. Este mineral se encuentra distribuido en los tres horizontes en las fracciones de tamaño limo y arcilla, si bien, se concentra principalmente en las fracciones de tamaño arcilla, observándose que, al disminuir el tamaño de partícula, el grado de cristalización de caolinita va aumentando (Fig. 1). Por otra parte la distribución de este mineral con la

profundidad en el perfil depende, en gran medida, del grado de alteración, de modo que cuanto más alteración se produce aparece mayor proporción de este mineral. Estos resultados sugieren que es el producto final de la alteración.

Probablemente la caolinita proceda de la alteración de feldespatos y biotita directamente. La alteración temprana de feldespatos ha sido descrita mediante etapas de intercambio de alcalinos y alcalinotérreos con cationes en la solución, siendo la rotura de los mismos y la presencia de huecos quienes abren el camino para la formación de los productos de la alteración.

Aunque en medios ácidos las vermiculitas

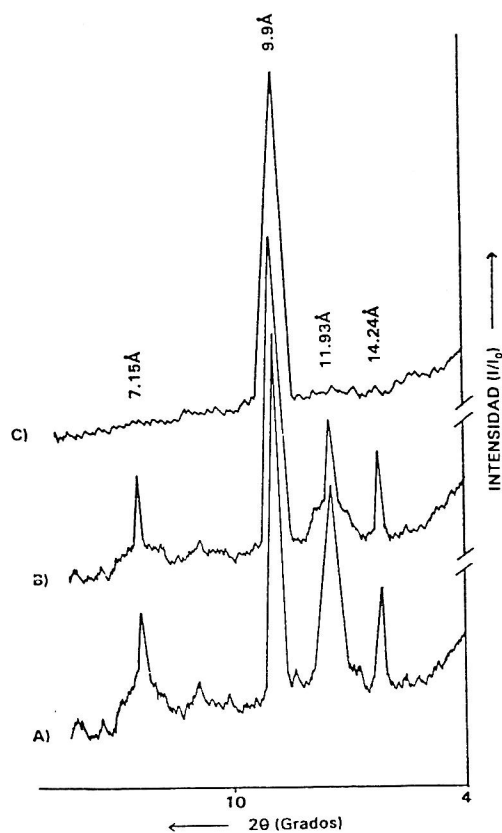


Figura 1. Diagrama de DRX de las muestras del perfil edáfico.

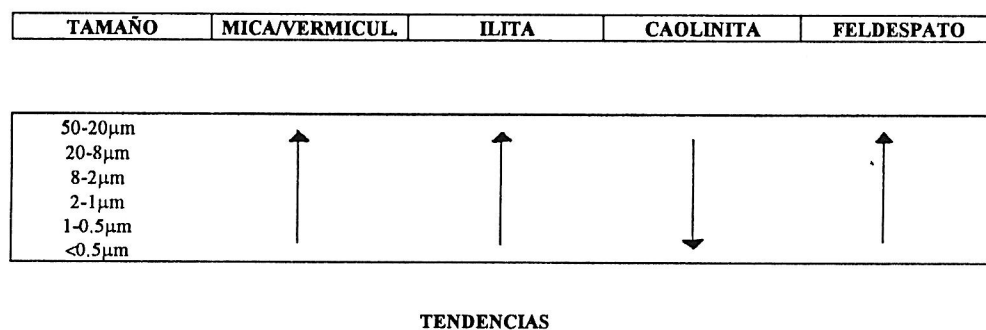


Figura 2. Tendencias generales de la mineralogía observadas, en relación a los tamaños de partículas.

suelen convertirse en intergrados, vermiculitas hidroxialumínicas, si existe buen drenaje, la vermiculita se inestabiliza, transformándose en caolinita, ya que es un mineral más estable en dichas condiciones a medida que la alteración prosigue (Carlisle y Zelazny, 1973; Zelazny et al., 1975).

En definitiva los cambios mineralógicos en función del tamaño de partícula se pueden simplificar gráficamente tal y como aparecen en la Figura 2.

## CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados del análisis mineral de muestras seleccionadas de saprolito y perfil edáfico, se puede establecer que aunque los procesos que controlan la alteración mineral son complejos existe unas tendencias:

1. Dentro de un mismo horizonte el grado de alteración aumenta al disminuir el tamaño de partícula.

2. Lo más probable es que la caolinita proceda de la alteración de feldespatos y de biotita. El drenaje intenso y las condiciones ácidas del medio controlan los productos de alteración, siendo la formación de intergrado mica-vermiculita, el primer producto de alteración que evoluciona hacia la formación de

vermiculita inicialmente y posteriormente hacia la formación de caolinita como producto final de alteración.

3. Bajo la perspectiva de profundidad del suelo se deduce que la alteración se produce de forma gradual y progresiva desde las muestras profundas hacia las superficiales, siendo mayor el grado de alteración en los horizontes superficiales.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se inscribe en un proyecto financiado por la CICYT (AMB94 0830), a la que agradecemos sinceramente su colaboración.

## BIBLIOGRAFIA

- Aleixandre T., Pinilla A. y Garcá M.T. (1981). III Procesos de alteración de minerales en suelos de la Sierra de Guadarrama. An. Eda. y Agro. XL, 1-2, 1879-1896
- Aleixandre T., Pinilla A. y García M.T. (1981). IV Procesos de alteración en suelos caracterizados por fenómenos de empardecimiento y movilización de arcilla (Haploxeralf). An. Eda. y Agro. XL, 1-2, 2177-2198

- Arevalo P., Gallardo J. y Benayas J. (1982). Características petroquímicas y micro-morfológicas de haploxeralfs en la Sierra de Guadarrama. *An. Eda. y Agr.* XLI, 9-10, 1579-1602.
- Bailey, S.W. (1980). Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee. *Clays Clay Miner.* 28:73-78.
- Barshad, I., and Kishk, F.M., (1969). Chemical composition of soil vermiculite clays as related to their genesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* 24:136-155.
- Bassett, W.A. (1963). The geology of vermiculite occurrences. *Clays Clay Miner.* 10:61-69.
- Berner R. A. y Holdren G. (1979). Mechanism of feldspar weathering. II Observations of feldspar from soils. *Geochim. Acta* 40, 157-161
- Boettcher, A.L. (1966). Vermiculite, hydrobiotite and biotite in the Rainy Creek igneous complex near Libby, Montana. *Clay Miner.* 6:283-296.
- Calvo de Anta R. y Macias F. (1981). Transformaciones de la organización durante la alteración y edafogénesis de rocas graníticas de Galicia. *An. Eda. y Agr.* XL, 9-10, 1559-1572.
- Carlisle, V.W., and Zelazny, L.W. (1973). Mineralogy of selected Florida Paleudults. *Soil Sci. Soc. Fla. Proc.* 33:136-139.
- Harry C. Starkey, Paul D. Blackmon, and Phoebe L. Hauf. (1984). The routine mineralogical analysis of Clay-Bearing samples. U.S. Geological Survey bulletin. 1563.
- Jackson M.L., Tyler S.A., Willis A.L., Bourbeau G.A. y Pennington R.P. 1948. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. *J. Phys. Coll. Chem* 52:1237-1260
- Malla, P.B., and Douglas, L.A. (1987 a). Lyaer charge properties of smectites and vermiculites: Tetrahedral vs. octahedral. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51:1362-1366.
- Penven M.J., Fedoroff N. y Robert M. (1983). Altération météorique des felspaths en milieu méditerranéen humide. *Sc. Geol. v II*, 149-160.
- Roy, R., and Romo, L.A. (1957). Weathering studies: 1. New data on vermiculite. *J. Geol.* 65:603-610.
- Seddoh F. (1973). Alteration des roches cristallines du Morvan. *These Sci. Un. Dijon.*
- Tardy Y. 1969. *Geochimie des alterations. Etude des arenas et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique.* Th. Strassbourg. et Mem. Srv. carte Geol. Alcaie Lorraine 31: 199 pg
- Tardy Y., Bocquier G., Paquet H. y Millot G. (1973). Formation of clay from granite and its distribution in relation to climate and topography. *Geoderma* 10, 271-184
- Vicente M.A. y Sánchez Camazano M. (1981). Mineralogénesis de arcillas de suelos forestales del centro.oeste de España. *An. Eda. y Agr.* XL, 3-4, 367-38.
- Vicente, M.A., Razzaghe, M., and Robert, M. (1977). Formation of aluminum hydroxy vermiculite (intergrade) and smectite from mica under acidic conditions. *Clay Miner.* 12:101-112.
- Walker, G.F. (1955). The mechanism of dehydration of Mg-vermiculite. *Clays Clay Miner.* 4:101-115.
- Weaver, C.E., and Pollard, L.D. (1973). The chemistry of clay minerals. Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam.
- Zelazny, L.W., Carlisle, V.W., and Calhoun, F.G. (1975). Clay mineralogy of selected Paleudults from the Lower Coastal Plain. p. 180. In *Agronomy abstracts.* ASA, Madison, WI.
- Zelazny, L.W., Lietzke, D.A., and Barwood, H.L. (1980). Septic tank drainfield failures resulting from mineralogical changes. *Virginia Water Resources Research Center Bull.* 124.